



# Statische Betrachtungen zu Gehölzen auf Dammbauten

Haselsteiner, Ronald

## Zusammenfassung

Ausgehend von den negativen und positiven Einwirkungen von Gehölzen auf Dammbauten soll gezeigt werden, wie man über die angreifenden und stützenden Kräfte eine Sicherheit gegen das Versagen des verwurzelten Baumes erhalten kann. Die Sicherheit gegen diesen sogenannten „Windwurf“ kann auf zwei verschiedene Weisen abgeschätzt werden. Erstens über einen Kippnachweis und zweitens über das Abgleiten des Bodens längs einer vorgegebenen Scherfuge.

## 1 Einführung

Der Bewuchs auf Dammböschungen kann sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit und Standsicherheit von Dammbauten haben. So ist unbestritten, dass Wurzeln und abgestorbene Wurzeln Hohlräume schaffen, welche aufgrund stärkerer Durchströmung Suffosions- und Erosionsvorgänge hervorrufen können. Die Veränderung der Bodeneigenschaften und besonders die Gefahr des Windwurfes sind zu erwähnen. Dagegen sprechen positive Effekte wie die Verringerung der Uferunterhaltungskosten, die Verbesserung der Selbstreinigungskraft der Gewässer, Holzzucht, landschaftspflegerische Aspekte und Ufersicherung an den Uferböschungen von Wasserstraßen (HIRSCH 1964).

Abb. 1: Deichbruch durch einen umgestürzten Baum auf einem Elbedeich bei Harburg aus EDER 2002



Die generelle Beeinflussung des durchwurzelten Bodens spielt bei statischen Betrachtungen eine wichtige Rolle. Durchwurzelter Boden hat eine geringere Wichte und kann zusätzlich durch schwingende Windbelastung aufgelockert sein. Diese Windbelastung kann Ausmaße annehmen, welche die über den Holzkörper in den Untergrund eingeleiteten Kräfte die vom Boden aufgebrachten Widerstände übersteigen, so dass das System versagt. Diese Art des Versagens wird generell als Windwurf bezeichnet. Der Baum entwurzelt erfahrungsgemäß mit seinem gesamten Wurzelteller (Abb. 1), was bei Dammbauten zum Versagen des Bauwerks führen kann.

## 2 Windangriffslast und Versagensmechanismen

Das Gehölz überträgt Lasten über den Holzkörper in den Untergrund. Über Scherfestigkeit und Kohäsion ist das Gehölz im Durchwurzelungsbereich im Dammkörper verankert. Nachfolgend wird auf die Ermittlung einer Windangriffslast und die beiden verschiedenen Versagensmechanismen, Materialversagen und besonders auf das Systemversagen, näher eingegangen. Neben einer neuen Betrachtungsweise des Versagensmechanismus - abgeleitet in der Scherfuge - ist ein bestehendes angewandtes Verfahren zur Abschätzung der Sicherheit gegen Windwurf - Kippen um einen Drehpunkt - dargestellt. Beide Versagensmechanismen unterscheiden sich in ihrer Form. Wird sich beim flach wurzelnden Bäumen ein Kippen um eine Kippachse einstellen, versagt ein tief wurzelnder Baum durch das Abgeleiten in der Scherfuge. Die Übergänge dieser Versagensformen sind fließend.

### 2.1 Windangriffskraft und ihre Berechnung

Wind entsteht durch Druckdifferenzen in der Luft. Meist wird er nach seiner Geschwindigkeit beurteilt. Abhängig ist die Windgeschwindigkeit und somit der resultierende Winddruck von topographischen, geologischen und umfeldbedingten Einflüssen sowie von der Böigkeit des Windes. Die Windgeschwindigkeit nimmt mit steigender geodätischer Höhe zu (SINN UND SINN 1992). Als maßgebliche Belastungsgrößen treten neben der Windkraft, welche durch die Windangriffsfläche und deren Durchlässigkeit und die Abmessungen des Baumes, welches z.B. das Längenverhältnis von Krone zu Stamm festlegt, bestimmt wird, auch Kräfte aus Eigengewicht auf.

Die Formel zur Windlastberechnung lautet

$$(1) \quad F_W = c_W \cdot q_{eff} \cdot A \quad [\text{kN}]$$

mit	$F_W$	Windlast [kN]
	$c_W$	Luftwiderstandsbeiwert [-]
	$q_{eff}$	Effektiver Staudruck [kN/m <sup>2</sup> ]
	$A$	Windangriffsfläche [m <sup>2</sup> ].

Die Ermittlung der Windangriffsfläche erfolgt z.B. über eine fotooptische Methode (SINN UND SINN 1992). Die Durchlässigkeit der Baumkrone bewirkt eine Abnahme der Winddruckkraft. Diese Abnahme wird durch den sogenannten Luftwiderstandsbeiwert  $c_W$  berücksichtigt. Dieser Wert kann Größen bis zu 2/3 annehmen (SINN 1985).

Der Staudruck errechnet sich zu

$$(2) \quad q_{eff} \approx \frac{1}{2} \cdot \rho_{Luft} \cdot v^2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

mit	$q_{eff}$	effektiver Staudruck [kN/m <sup>2</sup> ]
	$\rho_{Luft}$	Dichte von Luft 1,293 [kg/m <sup>3</sup> ]
	$v_W$	Windgeschwindigkeit [m/s].

Eine Grundlage zur Ermittlung des Staudrucks sind die Windstärken nach Beaufort (Tab. 1). Der  $c_w$ -Wert der Krone nimmt mit zunehmender Windstärke ab. Dies lässt sich so erklären, dass durch die Beugung des Baumes und die bereits gelegten Blätter die Windangriffsfläche unterproportional zur Windgeschwindigkeit zunimmt. Zum Vergleich sind die Lastannahmen in DIN 1055 Teil 4 mit den anzusetzenden Staudruck bei bestimmten Höhenintervallen beigelegt.

Tab. 1: Windstärken,  $c_w$ -Werte und Staudrücke aus SINN UND SINN 1992

Windstärke (Beaufort)	Windg. $v_w$ [m/s]	$c_w$ -Wert Krone [-]	Staudruck $q_{eff}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
8	20,0	0,30	0,26
9	24,0	0,27	0,37
10	28,40	0,25	0,52
11	32,60	0,24	0,69
12	36,90	0,23	0,88

Tab. 2: Staudruck in Abhängigkeit der Bauwerkshöhe aus DIN 1055 Teil 4

Höhe [m]	$v_w$ [m/s]	Staudruck $q_{eff}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
0 – 8	28,3	0,5
8 – 20	38,5	0,8
20 - 100	42,0	1,1
> 100	45,6	1,3

## 2.2 Versagensmechanismen: Materialversagen – Systemversagen

Der Baum bzw. das System Baum-Untergrund kann auf zwei Arten versagen. Das Materialversagen selbst stellt eine Art des Versagens dar. Neben außerordentlichen Lasten wie Blitzschlag oder Anpralllasten ist vor allem das Verfaulen des Baumes zu erwähnen, welches die Materialkennwerte von Holz auf kritische Bereiche herabsetzen kann. Mechanische Belastung am gesunden Baumkörper selbst werden dadurch verringert, dass der Baum in den beanspruchten Zonen Holz „anbaut“. Diese Erscheinung nennt man das Axiom der konstanten Spannungen (MATTHECK 2002). Erfährt der Baum z.B. im bodennahen Stammbereich einseitige Belastungen, kann er eine sogenannte Brettwurzel ausbilden (Abb. 3) und durch diesen Materialzuwachs für eben diese konstante Spannungen sorgen.

Die zweite Variante, stellt das Versagen des kombinierten „Bauwerks“ Baum-Untergrund dar. Der Baum verankert sich über sein Wurzelsystem in den Boden, um seine Standsicherheit zu gewährleisten. Die Ausbildung der Wurzeln kann verschiedenste Formen annehmen. Die grundlegenden Formen Herz-, Senk- und Pfahlwurzelsysteme können untereinander variieren oder andere den Umgebungsparametern angepasste Formen annehmen (Abb. 4).



Abb. 3: Brettwurzel eine Ulme (MATTHEK 2002)

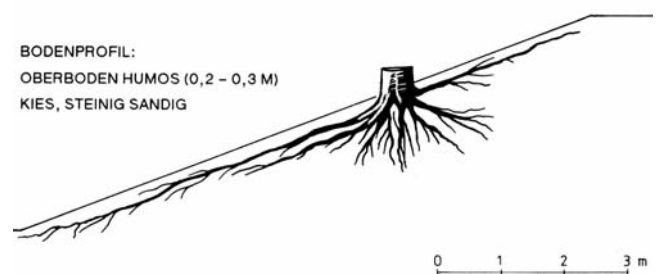


Abb. 4: Wurzel ausbreitung in einer Oberbodenschicht (EDER 2002)

Den untersuchten Nachweisen für die Sicherheit gegen Windwurf liegen die Betrachtungen am einzelnen Baum zugrunde. Bei bestehenden Verhältnissen ist es möglich, dass die Böschung an einer anderen, dann maßgebenden Scherfuge noch vor dem Ausbruch des Wurzeltellers versagt. In den vorliegenden Überlegungen wird nur das Versagen vom System Baum-Untergrund und nicht der Gesamtböschung betrachtet.

### 2.3 Systemversagen – Sicherheit gegen Kippen nach SINN 1985

In SINN 1985 wurde die Sicherheit gegen Kippen (Windwurf) folgendermaßen angenommen:

$$(3) \quad \eta_K = \frac{M_{\text{Stütz}}}{M_{\text{Wind}}} = \frac{G \cdot a_h}{F_W \cdot l}$$

mit	$\eta_K$	Sicherheit gegen Kippen [-]
	$M_{\text{Stütz}}$	Stützmoment [kNm]
	$M_{\text{Wind}}$	angreifendes Windmoment [kNm]
	$G$	Eigengewicht des Baumes [kN]
	$a_h$	horizontale Ausbreitung der Wurzel [m]
	$F_W$	resultierende Windkraft [kN]
	$l$	Angriffshöhe der resultierenden Windkraft [m].

Dabei wurde angenommen, dass sich unter dem Baum ein rechteckiges Wurzelfundament ausgebildet, welches für das Flachwurzelsystem Richtigkeit haben kann. Durch die im Boden hervorgerufenen Reaktionskräfte entsteht ein Stützmoment (Abb. 5). Solange dieses Stützmoment den angreifenden Momenten mit einer gewissen Sicherheitszuschlag ( $\eta_K = 1,5$ ) die Waage hält, wird der Baum als nicht kippgefährdet eingestuft.

### 2.4 Systemversagen – Sicherheit gegen Abgleiten in der Scherfuge

In Abb. 6 sind die angreifenden Kräfte am Baum und ihre Abtragung in den Untergrund anhand eines statisches Systems, welches sich an das Lamellenverfahren nach TERZAGHI 1954 zur Berechnung der Sicherheit gegen Böschungsbruch anlehnt, skizziert.

Der Wurzelraum wurde durch eine Ellipse idealisiert (EDER 2002). Die Scherfestigkeit des Bodens wird bei vorhandener Vernetzung mit Wurzeln erheblich erhöht (SINN 1993). Deshalb wird angenommen, dass diese geometrische Ellipse, welche die Umrisse der Wurzelausbreitung darstellt, im Versagensfall die Scherfuge ist, weil jeder andere „Gleitkreis“ einen höheren Widerstand, sei es durch erhöhte Scherfestigkeit oder eine längere Widerstandsstrecke, den Lasten entgegenbringen würde. Bei der Berechnung wird das Gleichgewicht der Momente am Fuß des Stammes betrachtet.

Zu den angreifenden Momenten zählen

- das Moment aus Windlast
- das abtreibende Moment aus Eigengewicht des Bodens
- das Moment aus Eigengewicht der Krone bei Verschiebung der Krone (Th. II. Ordnung).

Zu den rückhaltenden Momenten zählen

- das Moment in der Scherfuge aufgrund der Scherfestigkeit des Bodens
- das Moment in der Scherfuge aufgrund der Kohäsion im Boden
- das rüchtreibende Moment aus Bodengewicht.

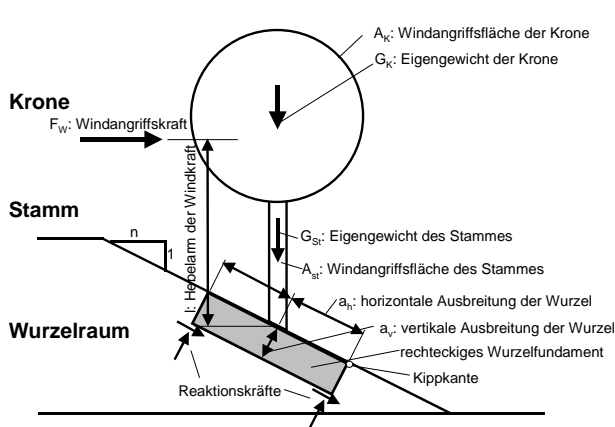


Abb. 5: Statisches System zur Abschätzung der Sicherheit gegen Kippen

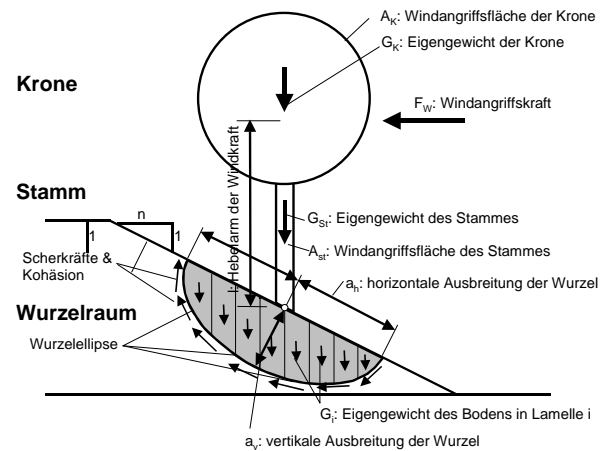


Abb. 6: Statisches System zur Abschätzung der Sicherheit gegen Abscheren

Somit ergibt sich die Sicherheit gegen Windwurf zu

$$(4) \quad \eta_s = \frac{r \cdot \sum (c_i \cdot l_i + G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \varphi_i)}{M_{Wind} + M_{II} + \sum G_i \cdot a_i}$$

mit	$\eta_s$	Sicherheit gegen Abscheren [-]
	r	Radius der Scherfuge [m]
	i	Anzahl der Lamellen i
	$c_i$	Kohäsion [kN/m <sup>2</sup> ]
	$l_i$	Länge der Strecke zur Kraftübertragung durch Kohäsion [m]
	$G_i$	Eigengewicht des Bodens [kN/m]
	$\alpha_i$	Richtungswinkel der Scherkräfte [°]
	$\varphi_i$	Reibungswinkel [°]
	$M_{Wind}$	Moment aus Windlast [kNm]
	$M_{II}$	Moment aus Eigengewicht des Baumes (Th. II. Ordnung) [kNm]
	$a_i$	Hebelarm der Lamellen [m].

### 3 Zusammenfassung / Ausblick

Den Auswirkungen von Gehölzen auf Dammbauten wird oft präventiv durch Vorschriften entgegengetreten, welche eine generelle Freihaltung von Gehölzen empfehlen (DVWK oder DIN). Der Einfluss von Gehölz auf vorhandene Bodeneigenschaften, auf Suffosion und Erosion, die Möglichkeit der Durchwurzelung von Dichtwänden in Dammbauten und noch viele andere Aspekte sind immer wieder Gegenstand von Fachdiskussion. Darüber hinaus unterstreicht der anwachsende Sanierungsbedarf von z.B. Flussdeichen die Wichtigkeit dieses Themas. Eine kritische Betrachtungsweise der in der Praxis gängigen Behandlung von Gehölzen auf Dammbauten

aufgrund detaillierterer Forschungsergebnisse kann als Ziel der weiteren Forschungsarbeit definiert werden.

## **Literatur**

DIN 1055-4: Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken, Deutscher Ausschuss für Normung, 1986

EDER, A.: Die schadhafte Auswirkungen von Gehölzwurzeln auf Dichtungen in Deichen und Dämmen, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, 2002

HIRSCH, A.: Zweck und Ziel des biologischen Wasserbaus an den Bundeswasserstraßen, Der biologische Wasserbau an den Bundesstraßen, Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1965

MATTHECK, C.: Mechanik am Baum, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2002

SINN, G.: Die Berechnungsmöglichkeit der Standsicherheit von Bäumen, Wertermittlungsforum, 1985

SINN, G.; SINN, Th.: Maximale Windangriffsflächen und Windlasten von Bäumen. Mitteilung 017 der Arbeitsstelle für Baumstatik (AfB), Veröffentlichung in Fachzeitschrift „Das Gartenamt“, Heft 1, 1992

SINN, Th.: Zum Einfluss des Bodens auf die Standsicherheit von Bäumen, Veröffentlichung in Fachzeitschrift „Das Gartenamt“, Heft 7, 1993

TERZAGHI, J.: Theoretische Bodenmechanik, Springer Verlag, Berlin, 1954

## **Verfasser**

Dipl.-Ing. Ronald Haselsteiner,      Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft,  
TU München, Arcisstr. 21, 80290 München,  
e-mail: r.haselsteiner@bv.tum.de